

Из рисунка видно, что проводимость пленок растет с увеличением концентрации примеси. В докладе представлены результаты анализ оценки подвижности носителей заряда и концентрации собственных основных носителей заряда проведен в рамках теории ТООЗ. Проведено сопоставление результатов с моделью, описанной в работе [1].

Список публикаций:

[1] Arkhipov V. I. et al. // *Physical Review B*. 2005. V. 72. №. 23. P. 235202.

Исследования мультиферроиков BiFeO_3 , легированных европием с разными концентрациями

Носов Иван Юрьевич

Зиннатуллин Алмаз Линарович, Черосов Михаил Андреевич

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Вагизов Фарит Габдулхакович, к.ф.-м.н.

vanka.nosov@mail.ru

Вещества, называемые мультиферроиками, проявляют более одного вида «ферро»-упорядочения: ферромагнетизм, ферроэластичность и сегнетоэлектричество (ферроэлектричество). Мультиферроики получили большое внимание за последние два десятилетия из-за возможности их использования в устройствах для хранения информации, сенсорах, аттенуаторах и спинтронных устройствах. Феррит висмута, BiFeO_3 (далее BFO), - один из наиболее перспективных мультиферроиков. BiFeO_3 имеет спиральную магнитную структуру (антиферромагнитное упорядочение типа G с температурой Нееля = 643 С) [1]. Температура Кюри сегнетоэлектрического упорядочения ≈ 1100 С. Феррит висмута имеет структуру перовскита и ромбоэдрическую элементарную ячейку.

Необходимым условием для усиления магнитоэлектрического эффекта/ферромагнетизма является изменение пространственно-модулированной спиновой структуры. Из-за различия в ионных радиусах и электронных структурах между редкоземельными элементами и висмутом, пространственно-модулированная спиновая структура BiFeO_3 может быть изменена замещением Bi редкоземельными элементами, ведущим к появлению намагниченности и к модификации магнитоэлектрических свойств допированного BiFeO_3 . Ионный радиус висмута Bi^{3+} (1.17 Å) больше чем ионный радиус европия Eu^{3+} (1.07 Å), что может привести к заметным искажениям решетки при замещении ионов висмута ионами европия. Предполагалось что, ионы европия Eu^{3+} подавят спиральную спиновую упорядоченность и улучшат магнитные свойства BFO даже при низких концентрациях [2]. Кроме того, замещение висмута редкоземельными элементами может создать условия для подавления формирования паразитных вторичных фаз типа $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$, которые обычно возникают при синтезе керамическим методом. В этой работе мы приводим результаты рентгеноструктурных, мёссбауэровских и магнитных исследований образцов феррита висмута, допированных ионами европия. Приводится анализ влияния европия на магнитные и магнитоэлектрические свойства синтезированных образцов феррита висмута.

Образцы $\text{Bi}_{1-x}\text{Eu}_x\text{FeO}_3$, где $x = 0, 0.05, 0.1, 0.15$ (далее BFO, BEFO5, BEFO10, BEFO15 соответственно), были получены стандартной реакцией твердотельного синтеза. Исходные порошки Bi_2O_3 , Fe_2O_3 и Eu_2O_3 (с чистотой не менее 99.5%) были смешаны в соответствующих стехиометрических соотношениях и тщательно перемолоты в агатовой ступке в течение 4 часов. С целью повышения однородности порошки перетирались в среде этанола (ОСЧ). Далее образцы отжигались при температуре 800 °С в течение 10 минут. Исследования методом рентгеновской дифракции показали, что после отжига образуется BiFeO_3 с небольшим содержанием примесных фаз $\text{Bi}_{25}\text{FeO}_{39}$ и $\text{Bi}_2\text{Fe}_4\text{O}_9$. После этого, с целью избавления от примесных фаз, образцы были обработаны раствором разбавленной азотной кислоты HNO_3 в течение 1 часа по технологии, приведенной в работе [2]. Далее образцы были тщательно промыты дистиллированной водой с целью деактивации кислоты, а взвесь профильтрована. Полученные порошки коричневого цвета были высушены при температуре ≈ 50 °С в течение 5 часов.

Полученные порошки были исследованы методами рентгеновской порошковой дифракции (XRD), мёссбауэровской спектроскопии на ядрах ^{57}Fe и ^{151}Eu и вибрационной магнитометрии. Дифрактограммы полученных образцов BFO, BEFO5, BEFO10, BEFO15 показали, что образцы однофазны. На дифрактограммах образцов феррита висмута, допированных ионами европия, наблюдалось некоторое смещение рефлексов в сторону больших углов 2θ , что указывает на уменьшение межплоскостных расстояний с ростом концентрации Eu. Это связано с меньшим ионным радиусом европия Eu^{3+} по сравнению с ионным радиусом висмута Bi^{3+} .

Мёссбауэрские спектры на ядрах ^{151}Eu состоят из одиночной линии поглощения. Это свидетельствует, что ионы Eu замещают атомы Bi в ромбоэдрической структуре и имеют степень окисления 3+. С увеличением концентрации европия, значения изомерного сдвига линии поглощения становятся ближе к значению изомерного сдвига для оксида европия.

Мёссбауэровский спектр на ^{57}Fe феррита висмута представляют собой ассиметричный зеемановский секстет с неоднородно уширенными резонансными линиями. Асимметрия и уширение линий связаны с распределением сверхтонких полей благодаря спиральной магнитной структуре. С увеличением концентрации ионов Eu в $\text{Bi}_{1-x}\text{Eu}_x\text{FeO}_3$, линии секстета принимают более симметричный вид. Наблюдаемое изменение спектра можно объяснить подавлением пространственной спиральной магнитной структуры при замещении висмута ионами европия. Вероятно, введение редкоземельных катионов в структуру BFO увеличивает магнитокристаллическую анизотропию, тем самым спиральная спиновая структура становится энергетически неблагоприятной [3].

Результаты вибрационной магнитометрии показывают значительную модификацию магнитных свойств феррита висмута по мере увеличения содержания европия. С усилением легирования растет также и намагниченность материала. Проявление необратимости в полевой зависимости намагниченности, т.е. петли гистерезиса, также служит подтверждением изменения магнитной структуры материала.

В заключение: в данной работе приведены результаты структурных, магнитных и мёссбауэровских исследований поликристаллических образцов BiFeO_3 , легированных европием. Установлено что, замещение висмута европием приводит к изменению кристаллической структуры феррита висмута, модифицируя магнитные и магнитоэлектрические свойства синтезированных соединений. Наряду с использованием наноструктурированных образцов и сильных магнитных полей, метод легирования редкоземельными элементами является достаточно эффективным средством подавления пространственно-модулированной спиновой структуры феррита висмута.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы повышения конкурентоспособности Казанского федерального университета. Магнитные измерения были выполнены с использованием оборудования ФЦКП ФХИ КФУ.

Список публикаций:

[1] G. Catalan and J. F. Scott, *Adv. Mater.* 21, 2463 (2009)

[2] Zhengming Jiang, Anguo Peng, Min Liuy, Guoqing Liu and Ge Zhang, *Mod. Phys. Lett. B*, 1950094(2019)

[3] X. Zhang et al., *Journal of Alloys and Compounds* 507 (2010).

Фотоуправляемые органические полевые транзисторы

Павлов Александр Валерьевич

Муллагалиев Ильнур Наилевич

Баширский государственный университет

Салихов Ренат Баязитович, д.ф.-м.н.

alexpav2457@gmail.com

Органический полевой транзистор (ОПТ) является ключевым элементом в современной органической электронике. Его основные преимущества по сравнению с кремниевым транзистором включают низкую стоимость органических материалов, дешевое и экологически чистое производство органических элементов с помощью технологий печати, а также их универсальные качества, такие как малый вес, гибкость, прозрачность, длительный срок хранения и надежность [1].

В последние годы популярной тенденцией является разработка оптически управляемых полевых транзисторов, которые являются перспективными в качестве элементов оптической памяти, путем объединения органических полупроводников с фотохромными соединениями, поскольку последние демонстрируют двойную проводимость в условиях изомеризации [2-4].

Фотопереключаемые ОПТ (рис. 1) были изготовлены на стеклянных подложках с проводящим слоем ИТО (оксид индия и олова), который действует как затвор. Стеклянные подложки очищали ультразвуком (35 кГц) в деионизированной воде и сушили в печи при 80°C в течение 15 минут. ПАНИ толщиной 300 нм наносили термическим испарением в вакууме (2×10^{-5} мбар) из ячейки Кнудсена через теневую маску. Полианилин находился в непроводящем состоянии и действовал как подзатворный диэлектрик. Фотохромное органическое соединение спиропиран и C_{60} в виде разделенных слоев наносились этим методом (со скоростью 0.3–0.4 нм/с) толщиной 200 нм для каждой пленки. Масса каждого использованного органического вещества составляла 10 мг. Затем алюминиевую пленку (500 нм) осаждали в вакууме в качестве электродов истока и стока. Контроль